



Strukturförbättrande förmåga hos mellangrödor före sockerbeter

– Undersökning av mellangrödors effekt på markens infiltrationskapacitet

Structural improvement ability of cover crops before sugar beets
- *Study of cover crop effects on soil infiltration capacity*

Pernilla Edströmer



Examensarbete/Självständigt arbete • 15 hp
Sveriges lantbruksuniversitet, SLU
Lantmästare - Kandidatprogram
Alnarp 2020

Strukturförbättrande förmåga hos mellangrödor före sockerbetor

Undersökning av mellangrödors effekt på markens infiltrationskapacitet

Structural improvement ability of cover crops before sugar beets

- Study of cover crop effects on soil infiltration capacity

Pernilla Edströmer

Handledare: Maria Ernfors, SLU, Institutionen för biosystem och teknologi

Bitr. handledare: Jeppa Olanders, Kronoslätts gård

Examinator: Håkan Asp, SLU, Institutionen för biosystem och teknologi

Omfattning: 15 hp

Nivå och fördjupning: G2E

Kurstitel: Självständigt arbete inom lantbruksvetenskap, G2E – Lantmästare - Kandidatprogram

Kurskod: EX0885

Program/utbildning: Lantmästare - Kandidatprogram

Kursansvarig inst.: Biosystem och teknologi

Utgivningsort: Alnarp

Utgivningsår: 2020

Omslagsbild: Jeppa Olanders, 2020

Nyckelord: Mellangröda, Infiltrationsförmåga, Struktur, Genomsläpplighet

Sveriges lantbruksuniversitet

Fakulteten för landskapsarkitektur, trädgårds- och växtproduktionsvetenskap
Institutionen för biosystem och teknologi

Sammanfattning

Syftet med detta examensarbete var att bestämma hur några utvalda mellangrödor påverkar markens genomsläpplighet, det vill säga infiltrationskapacitet, genom ett försök som utfördes år 2020. Försöksfältet var beläget på Kronoslätts gård i Hemmesdyngge. På fältet odlades stärkelsevete år 2019 varpå mellangrödorna såddes efter skörd i parceller. Hälften av parcellerna gödslades och resten var ogödslade. Parcellerna repeterades i 4 block. I infiltrationsförsöket ingick 8 behandlingar och totalt grävdes 32 gropar, 4 för vardera behandling. Därefter användes Simple-falling-head-tekniken där man undersöker hur snabbt vatten dräneras ned i marken ur en cylinder. I varje grop placerades 5 cylindrar och två volymbestämda jordprover togs ur vardera grop för att kunna räkna ut markens bulkdensitet. Infiltrationshastighet, vattenhalt och bulkdensitet användes sedan för att räkna ut den mättade flödeshastigheten för vardera behandling för att kunna se om denna påverkats positivt eller negativt.

Resultaten från infiltrationsförsöket jämfördes sedan med skörderesultat av sockerbetor från ett annat försök, vilka odlats år 2019 på samma gård. I det försöket visade resultatet att en av behandlingarna signifikant ($P \leq 0.05$) förbättrade avkastningen. Ytterligare en behandling visade tendens att öka avkastningen. Detta gjorde det intressant att undersöka om skördeförändringen orsakats av en struktureffekt.

Något signifikant samband mellan förbättrad infiltrationskapacitet och skördeökning samt att mellangrödorna skulle förbättra infiltrationskapaciteten kunde dock inte påvisas. Utifrån detta går det inte att konstatera att mellangrödorna har en effekt på infiltrationskapaciteten och det tyder på att det inte är via förbättrad struktur som mellangrödor ger högre skörd. Det bör dock vara av intresse att jämföra resultatet i infiltrationsförsöket 2020 med skördedatan 2020.

Nyckelord: Mellangröda, infiltrationsförmåga, struktur, genomsläpplighet

Abstract

The purpose of this thesis was to decide whether some selected cover crops affect the permeability of the soil, ie infiltration capacity, through an experiment. The results of the experiment were then compared with the harvest result of sugar beet grown on a test field in 2019 on the same farm. Those results showed that one of the cover crops significantly ($P = <0.05$) improved the yield. Another crop showed a tendency to increase yield. This made it interesting to investigate whether the yield increase was caused by a structural effect.

The experiment took place at Kronoslätt's farm in Hemmesdyngge. In 2019 starch wheat grew on the field and the cover crops were sown after harvest in plots where 50% were fertilized and 50% were not fertilized. The plots were repeated in 4 blocks. The infiltration experiment included 8 treatments were 32 pits, 4 for each crop were excavated. The Simple-falling-head technique was then used to investigate how quickly water drains into the soil from a cylinder. In each pit 5 cylinders were placed and two soil samples were taken from each pit to calculate the bulk density in the soil. The infiltration rate, water content and bulk density were then used to calculate the saturated flow rate of each cover crop to see if it was affected positively or negatively.

No significant correlation was found between improved infiltration capacity and harvest increase. Neither could the theory that the cover crops would improve infiltration be supported. Based on this, it is not possible to conclude that the cover crops have an effect on infiltration capacity and this indicates that it is not through improved structure that cover crops increased the sugar yield 2019. However, it should be of interest to compare the result of the infiltration experiment 2020 with the harvest data of 2020.

Keywords: Cover crop, Infiltration capacity, Structure, Permeability

Förord

Lantmästare - kandidatprogrammet är en treårig universitetsutbildning vilken omfattar 180 högskolepoäng (hp). Inom programmet är det möjligt att ta ut två examina en lantmästarexamen 120 hp och en kandidatexamen 180 hp. En av de obligatoriska delarna i denna är att genomföra ett eget arbete som ska presenteras med en skriftlig rapport och en muntlig redovisning. Detta arbete kan t.ex. ha formen av ett mindre försök som utvärderas eller en sammanställning av litteratur vilken analyseras. Detta arbete är utfört under programmets tredje år och arbetsinsatsen motsvarar minst 10 veckors heltidsstudier (15 hp).

Jag själv är en lantmästarstudent som har ett stort intresse av svenskt lant- och jordbruk. Jag tycker att det är viktigt att bedriva en produktion som är ekonomiskt hållbar men ser även vikten av att ha ett miljömässigt hållbart förhållningssätt. Dessa två faktorer kan av vissa ses som varandras motsatser men jag tror och hoppas att det finns och kommer att implementeras nya metoder att kunna upprätthålla den ekonomiska faktorn utan att tumma på det miljömässiga och vice versa. Det är av yttersta vikt att vi kan överlämna våra livsverk till nästa generation, utan att försämrat förutsättningarna till att bedriva en hållbar produktion. Här tror jag att god markhälsa är en viktig parameter för framtiden, där mellangrödor kan komma att bli en del av svaret.

Idén till denna studie kom från Maria Ernfors som en del i ett större PA-projekt (projektnummer 1284). Maria har även varit handledare i arbetet.

Ett varmt tack riktas till Jeppa Olanders på Kronoslätts gård för att ha låtit mig utföra försök på sin gård, trots att fältet var nysått. Vidare vill jag tacka Jan-Eric Englund för att bistått med statistisk rådgivning och Maria Ernfors för att ha bidragit med tid, kunskap och vägledande råd.

Detta arbete är finansierat av Partnerskap Alnarp (projektnummer 1290).

Alnarp juni 2020

Pernilla Edströmer

Innehållsförteckning

1. Inledning.....	7
1.1. Begreppsbeskrivning.....	7
1.2. Rotsystemets påverkan på markstrukturen	7
1.3. Infiltration och mättad hydraulisk konduktivitet – markens genomsläpplighet.	8
1.4. Kunskapsläget.....	10
1.5. Syfte	10
1.6. Mål	10
1.7. Frågeställning	11
1.8. Avgränsning	11
2. Material och metod	12
2.1. Försöksplats.....	12
2.2. Artpresentation av mellangrödor i försöket.....	15
2.3. Metod	17
2.3.1. Försöksupplägg	17
2.4. Bearbetning av data.....	19
3. Resultat.....	21
4. Diskussion och slutsats	25
5. Referenser.....	30
Bilagor.....	33

1. Inledning

Odling av mellangrödor är ett aktuellt ämne då intresset ökat bland lantbrukare i Sverige (Eklund 2020). Fördelarna med att etablera mellangrödor kan bli många, såsom minskat ogrästryck, ökat näringsinnehåll och ökad mullhalt. Inte minst kan etablering av mellangrödor leda till en förbättrad struktur i jorden (Scandinavian Seed u.å.). Förbättrad struktur kan i sin tur öka avkastningsnivåerna inom ett fält eftersom växtens förutsättningar för att utveckla ett stort rotsystem optimeras och därmed förbättras tillväxten. En viktig faktor för att få en uppfattning om strukturen i marken är att mäta jordens genomsläpplighet dvs. mättad hydraulisk konduktivitet, K_{fs} . (Keller et al. 2007).

1.1. Begreppsbeskrivning

Infiltration är ett begrepp som beskriver då vatten tränger igenom det översta jordlagret och därmed blir markvatten. Infiltrationskapaciteten beskriver hur mycket vatten som kan tränga ned i marken vilket kan variera beroende på vattenhalten i marken. Mättad hydraulisk konduktivitet (K_{fs}) beskriver infiltrationskapaciteten när jorden är mättad på vatten. Det gör det möjligt att jämföra K_{fs} -värden från olika platser oavsett dess faktiska vattenhalt (Weil & Brady 2017). Alla resultat i detta försök är beräknade med K_{fs} . Genomsläpplighet används här synonymt med K_{fs} , trots att det inte är ett vetenskapligt begrepp. Infiltrationskapacitet används också synonymt med K_{fs} eftersom det är ett mer välkänt begrepp men det avser då marken är mättad.

1.2. Rotsystemets påverkan på markstrukturen

Keller et al. (2007) skriver att anledningen till variationer i avkastning inom ett fält kan bero på tre faktorer: slumpartad variation (väder, etc.), naturlig variation (mark, terräng, etc.) och brukningsmetoder (jordbearbetning, gödning, etc.). Markens struktur påverkar jordens egenskaper och processer i mycket stor utsträckning. Bland dessa finns bland annat K_{fs} , syretransporter och hållfasthet. Dessa faktorer påverkar i sin tur växtens förmåga att bilda rotsystem och därmed växtens tillväxt- och upptagningsförmåga. Avkastningsnivåerna inom ett fält kan inte alltid förklaras av markens innehåll av näringsämnen. Däremot kan det finnas ett samband mellan skörd och markens struktur under vissa förutsättningar vilket då kan påvisa att förbättring av markstrukturen kan leda till högre skörd där framförallt markens genomsläpplighet är framträdande, vilket har indikerats av modellsimuleringar (ibid.)

Mellangrödans rötter påverkar markens struktur genom att rötterna luckrar jorden och rotgångar bildas i profilen (Aronsson et al. 2012). Arter med pålrotsystem har

en särskilt god förmåga att luckra packade jordar eftersom de lättare kan tränga igenom ett kompakterat jordlager. Framförallt verkar tvåhjärtbladiga växter med pålrotsystem vara särskilt effektiva (Chen & Weil 2011). Arter med finare rötter utvecklar ofta ett kraftigt men ytligt rotsystem tidigt i växtsäsongen men det når inte särskilt långt ned i profilen (Aronsson et al. 2012).

Porer som bildats av de djupgående rötterna, från exempelvis en mellangröda, ökar dels K_{fs} och syretransporterna i jorden (Granstedt et al. 1986) men de ger även den nästkommande huvudgrödans rötter en förutsättning att breda ut sig i marken. Genom detta förbättras huvudgrödans möjligheter att närings- och vattenförsörja sig eftersom rötterna når längre ned i profilen via mellangrödans rotkanaler (Figur 1). Särskilt under torra perioder i mellersta USA har detta kommit att bli mycket viktigt eftersom kompakterad jord gör att huvudgrödornas rotsystem inte når ned till grundvattnet i marken. Rotsystemet blir då mycket ytligt vilket påverkar skörderesultatet negativt då växten inte kunnat försörja sig (Chen & Weil 2011). En god dränering låter även jorden torka upp tidigare på våren. Detta kan dels generera i en tidigare växtsäsong men det är också en bidragande faktor för att minska risken för markpackning om odlings säsongen börjar innan marken hunnit torka upp (Granstedt et al. 1986).



Figur 1. Växtrot i rotgång

1.3. Infiltration och mättad hydraulisk konduktivitet – markens genomsläpplighet

Studier har visat att markens K_{fs} påverkas av framförallt två faktorer: egenskaper hos grödorna i växtföljden samt markens fysiska egenskaper (Gao-Lin et al. 2016). Olika jordarter har skiftande struktur vilket påverkar dess förmåga att släppa igenom vatten (Tabell 1) (Klang & Karlsson 2015). För att få en uppfattning om markens struktur så går det att mäta dess infiltrationsförmåga, dvs.

dess genomsläpplighet genom Simple-Falling-Head-tekniken, SFH-tekniken (Keller et al. 2007). En låg eller mycket låg genomsläpplighet bedöms utgöra <0,42-4,2 mm/h och en god eller mycket god genomsläpplighet bedöms utgöra 42->420 mm/h (Tabell 2) (Berglund & Gustafson Bjuréus 2008).

SFH-tekniken testades på tre gårdar i Sverige år 2007 där resultatet visade ett samband mellan K_{fs} och relativ skörd. Desto högre K_{fs} desto högre skörd. Dock förväntas det att det finns en gräns för detta samband då skördeökning inte längre kan påvisas av förbättrad K_{fs} utan snarare att skörderesultatet försämras om K_{fs} -värdena blir för höga. Det påpekas också att andra faktorer i markens struktur kan påverka avkastningen men att K_{fs} troligtvis är det viktigaste måttet att ta hänsyn till. Faktorer som kan försämrar strukturen och därmed K_{fs} kan vara markpackning. Detta försämrar då även växtens förutsättningar för rottillväxt och upptagningsförmåga och därmed avkastningsnivåerna (Ibid.). En indikator för att uppskatta markens kompaktering är att mäta dess bulkdensitet. Bulkdensiteten är en viktig parameter för att kunna bilda en uppfattning om markens fysikaliska egenskaper såsom porositet, markfukt och K_{fs} (Shan et al. 2019)

Tabell 1. Jordarters mättade infiltrationskapacitet (mm/h) (Klang & Karlsson 2015)

Jordart	K_{fs} (mm/h)
Ler	4
Silt	27
Morän	47
Sand	68

Tabell 2. Klassificering av infiltrationskapacitet (mm/h) (Berglund & Gustafson Bjuréus 2008)

Infiltrationskapacitet (mm/h)	Klassificering
<0,42	Mycket låg
0,42-4,2	Låg
4,2-12,5	Medellåg
12,5-42	Medelhög
42-420	Hög
>420	Mycket hög

1.4. Kunskapsläget

Flera olika försök som gjorts på K_{fs} och dess korrelation till skördeökning visar olika resultat. Orsakerna till skillnaderna i resultat kan bero på jordart, bearbetningssystem, med mera. Det gör att det saknas kunskap både internationellt och inom Sverige om ämnet eftersom det är svårt att applicera ett resultat på en annan plats eller ens på en annan närliggande gård. Antalet försök som utförts i Sverige är få vilket gör det svårt att veta om K_{fs} har ett samband med skördeökning i svenska jordar. Denna studie har indikerat att K_{fs} skulle kunna ha en effekt på avkastning vilket bör undersökas vidare på fler jordarter och med andra förutsättningar.

I ett fältexperiment på en gård i Hemmesdynge, 15 km öster om Trelleborg, har det setts en skördeökning av sockerbetor som odlats efter mellangrödor år 2018-2019. Skördeförändringen varierade mellan de olika behandlingarna men generellt låg resultatet på 900-1600 kg/ha över kontroll-ledet (Svensson et al. 2020 a). För de flesta behandlingarna var skillnaden inte signifikant ($P \leq 0.05$) men oberoende av kvävenivå gav en av behandlingarna en signifikant ökning ($P=0.02$) på 1600 kg/ha och en annan behandling visade en tendens till skördeökning ($P=0.08$) på 1100 kg/ha.

1.5. Syfte

Syftet med denna studie är att kunna fastställa huruvida mellangrödor kan genom direkt eller indirekt påverkan på markstrukturen leda till en ökad avkastning då detta kan vara av intresse för verksamma inom jordbrukssektorn.

1.6. Mål

Målet med detta självständiga arbete är att ta reda på huruvida olika mellangrödor har en effekt på markens genomsläpplighet, K_{fs} i form av struktur och infiltrationskapacitet för att sedan undersöka ett eventuellt samband med skördeökning av sockerbetor.

1.7. Frågeställning

- Hur påverkar olika mellangrödor i blandning eller renbestånd markens genomsläpplighet?
- Finns det ett samband mellan påvisad skördeökning av sockerbetor som odlats efter mellangröda och förbättrad genomsläpplighet i mark efter odling av mellangröda?

1.8. Avgränsning

Försöket har inte behandlat följande faktorer som kan ha påverkats positivt eller negativt efter odling av mellangrödor:

- Rotutveckling hos huvud- och mellangröda
- Kemiska egenskaper (pH, mullhalt)
- Aggregatbildning och aggregatstabilitet
- Mikroliv och nedbrytningsförmåga
- Växtsjukdomar och skadeorganismer
- Eventuellt förhindrande av näringsläckage

2. Material och metod

2.1. Försöksplats

Försöket har genomförts på Kronoslätts gård i Hemmesdynge i södra Sverige, 55°22'3.5"N 13°22'14.2"E i tempererat klimat. Jordarten på det aktuella fältet är sandig moränlättilera som regelbundet plöjs. Gården har ingen djurproduktion och därför gödslas det enbart med mineralgödsel.

Det har tidigare gjorts två försök på gården (Svensson et al. 2020a). Det första försöket (2018-2019) omfattade 3 block med 12 behandlingar. Det andra försöket (2019-2020) utökades till totalt 4 block med 12 behandlingar, totalt 104 parceller (Tabell 3; Tabell 4). De två försöken (2018-2019, 2019-2020) var inte etablerade på samma fält och behandlingarna skiljer något. Försöket utökades eftersom det fanns ett behov att få in mer dataunderlag till statistisk bearbetning för att få fram säkrare resultat.

Tabell 3. Behandlingar i försök 2 på Kronoslätts gård (2019-2020) (Svensson et al. 2020b)

<i>Behandling</i>	<i>Sort</i>
<i>Oljerättika</i>	<i>Angus Defender Contra Control</i>
<i>Honungsört</i>	
<i>Honungsört</i>	
<i>Blodklöver</i>	
<i>Bovete</i>	
<i>Bovete</i>	
<i>Blodklöver</i>	
<i>Honungsört</i>	
<i>Bovete</i>	
<i>Blodklöver</i>	
<i>Purrahavre</i>	
<i>Oljerättika</i>	<i>Defender</i>
<i>Purrahavre</i>	

Tabell 4. Mått på parceller och avstånd mellan block i försök 2 på Kronoslätts gård (2019-2020).

<i>Parceller 0 kg N</i>	<i>8*18 m</i>
<i>Parceller 35 kg N</i>	<i>8*18 m</i>
<i>Avstånd mellan resp. block</i>	<i>18 m</i>

I båda försöken var hälften av parcellerna var gödslade med 35 kg N/ha och resterande var ogödslade (ibid.). Försöket i denna studie utfördes på fältet för det andra försöket (2019-2020). Avkastningsdata från det första försöket (2018-2019) har använts i denna studie genom den jämförts med infiltrationsresultaten med strävan att finna en korrelation. Purrhavre + oljerättika (led V₇) var inte med i det första försöket (2018-2019) och därför kommer skörd inte att kunna jämföras med markens K_{fs} .

Utförda arbeten vid etablering av det andra försöket

Stärkelseveten skördades i augusti 2019 varpå halmen hackades och spreds ut på fältet. Därefter bearbetades jorden cirka 5 cm djupt med ett tallriksredskap.

Mellangrödorna såddes den 16 augusti 2019 med en Väderstad Rapid skivbillssåmaskin. Mineralgödselgivan lades ut den 17 augusti. Mellangrödorna plöjdes sedan ned den 7 januari 2020 (Figur 2) (Svensson et al. 2020b).

Sockerbetorna såddes den 26 mars 2020¹.



Figur 2: Plöjning av mellangrödor 7 januari 2020 (Olanders 2020)

¹ Jeppa Olanders, Kronoslätts gård, personlig kommunikation 2020-05-27

Försök markens genomsläpplighet

De behandlingar som i det första försöket på gården indikerat störst skördeeffekt på sockerskörden 2019 valdes ut i detta försök, vilket genererade i att 8 behandlingar (inkl kontroll-led) undersöktes (Tabell 5). Oljerättika + purrhavre (led V₇) hade ingen skördedata men upplevdes vara en gröda intressant att undersöka. Varje test upprepas i samtliga 4 block. Endast ogödslade parceller togs med i försöket, bortsett från honungssört + blodklöver (led V₆) som gödslats. Försöket ägde rum den 14-16/4-2020 samt 20-21/4-2020. Det hade inte kommit någon nederbörd sedan den 10/3-20 då försöket genomfördes.

Tabell 5. Behandlingar vilka tagits med i infiltrationsförsök 2020

<i>Behandling</i>	<i>Led</i>	<i>Gödsling</i>
<i>Kontroll</i>	<i>V₀</i>	<i>0 kg N/ha</i>
<i>Oljerättika (Defender)</i>	<i>V₁</i>	<i>0 kg N/ha</i>
<i>Honungssört</i>	<i>V₂</i>	<i>0 kg N/ha</i>
<i>Honungssört Bovete</i>	<i>V₃</i>	<i>0 kg N/ha</i>
<i>Purrhavre</i>	<i>V₄</i>	<i>0 kg N/ha</i>
<i>Honungssört Blodklöver</i>	<i>V₅</i>	<i>0 kg N/ha</i>
<i>Honungssört Blodklöver</i>	<i>V₆</i>	<i>35 kg N/ha</i>
<i>Purrhavre Oljerättika</i>	<i>V₇</i>	<i>0 kg N/ha</i>

Infiltrationsförsöket genomfördes genom att en grop á 1,1m² grävts på plogdjup, 23 cm, i respektive parcell. Därefter fylldes infiltrationscylindrar med vatten i gropan. Tiden togs på varje infiltrationscylinder till dess att de var tomma på vatten. I varje grop togs två jordprov för att mäta vattenhalt och bulkdensitet i jorden.

Försöket krävde följande materiel:

- Spade
- Tumstock
- Vatten (5 liter per grop)
- Infiltrationscylindrar i metall, Ø17 cm H:12 cm
- Tidtagningsur
- Jordprovscylindrar
- Hammare/slägga

2.2. Artpresentation av mellangrödor i försöket

Oljerättika (Raphanus sativus O.)

Oljerättikan är en icke kvävefixerande växt (Aronsson et al. 2012) vilken en god tillväxt både över och under mark. Den är en god marktäckare och en bra markluckrare. Den har även generellt sett en god sanerande effekt på skadegörare. Pålrotsystemet växer till fort under hösten och rötterna är mycket djupgående vilket kan ge en effekt av alvluckring. Växter som etableras efter odling av oljerättika kan utnyttja rotgångar som bildats i marken (ibid.). Vid ett försök i Danmark påvisades det att rotsystemet på kort tid nådde 2,4 m ned i profilen (Pålsson u.å.). (Tabell 6).

Honungsört (Phacelia tanacetiflora B.)

Honungsörten är en icke kvävefixerande växt vilken har ett tätt bladverk och fungerar därför väl för att hålla bort ogräs. Den utvecklas fort under gynnsamma förhållanden (Aronsson et al. 2012) men vid etablering kräver plantan en god kvävetillgång (Ögren 2016).

Honungsörten utvecklas dåligt i kompakterad mark men den har ett pålrotsystem som luckrar jorden (Ögren 2016) och motverkar erosion väl. Den är mycket torktålig och växer bäst på humusrik sand men etableras väl på alla jordar. (Kirk 2015). (Tabell 6).

Blodklöver (Trifolium incarnatum L.)

Blodklöver är en kvävefixerande, ettårig ört som kan växa upp till 4 dm ovan mark (Naturhistoriska riksmuseet 2000b). Blodklövern är något köldtålig och den utvecklas mycket fort jämfört med andra klöversorter (Wirén 2013) men den trivs inte på dåligt dränerade jordar samt jordar med högt pH, dock finns det en viss sortvariation (SARE 2012). Rotsystemet har en pålrot som kan växa ned till 55 cm djup vilken luckrar jorden väl (Edible wild food 2020). Den tåler inte avslagning (Wirén 2013). (Tabell 6).

Bovete (Fagopyrum esculentum M.)

Bovete är en ettårig icke kvävefixerande gröda (Ögren 2016). Den trivs bäst på lätta jordar och den utvecklas fort om jorden är varm. Dess pålrotsystem har många sidorötter som fungerar väldigt väl för att ta upp fosfor, vilket leder till att bovetepantor har ett högt fosforinnehåll. Den är inte frosttålig och den tål inte kraftig avslagning vilket innebär att det är lätt att avdöda grödan inför sådd av huvudgröda (ibid.). (Tabell 6).

Purrahavre (Avena strigosa S.)

Purrahavre är en ettårig icke kvävefixerande växt (Naturhistoriska riksmuseet 2000a). Den är mycket lik den vanliga havren men plantan blir större och rotsystemet växer djupare i profilen (Cotswold 2020). Rotsystemet utvecklar 3-6 primärrötter. Sekundära rötter utvecklas från stammen (Hoad et al. 2001). Den förekommer vanligen som mellangröda att använda för att förbättra markstrukturen. Den etableras fort och är därmed en god konkurrent mot ogräs. (Cotswold 2020). (Tabell 6).

Tabell 6. Sammanställning av mellangrödor vilka tagits med i infiltrationsförsök på Kronoslätts gård 2020

Gröda	Vetenskaplig benämning	N-fix	Rotsystem	Växtperiod	Egenskaper
Oljerättika	<i>Raphanus sativus O.</i>	Nej	Pålrotsystem	Årnuell	God alvluckrare Utvecklas fort Sanerande effekt Mycket djupgående rotsystem (240 cm)
Honungsört	<i>Phacelia tanacetiflora B.</i>	Nej	Pålrotsystem	Årnuell	Etableras dåligt i kompakterad mark God markluckrare när etablerad Tåler ej frost och avslagning Torktålig Etableras väl på alla jordarter
Blodklöver	<i>Trifolium incarnatum L.</i>	Ja	Pålrotsystem	Årnuell	Utvecklas fort Tåler ej avslagning Djupgående rotsystem (55 cm)
Bovete	<i>Fagopyrum esculentum M.</i>	Nej	Pålrotsystem	Årnuell	Ytligt pålrotsystem med många sidorötter Högt fosforinnehåll Tåler ej avslagning och frost Trivs på lätta jordar
Purrahavre	<i>Avena strigosa S.</i>	Nej	Ej pålrotsystem	Årnuell	Utvecklas fort Rotsystem som når djupare än vanlig havre Tåler ej kraftig avslagning Förekommer vanligen som markstrukturförbättrare

2.3. Metod

2.3.1. Försöksupplägg

Metoden och uträkningarna, sk. SFH-tekniken, av försöket hämtades från Bagarello et al. (2004).

I varje parcell som skulle undersökas grävdes en grop med måtten 200*55cm med ett djup på cirka 20 cm. Varje grop grävdes minst 3 m från varje sida av parcellen för att undvika kanteffekter. Det översta lagret i gropen grävdes med spade. För att få en jämn yta i botten skalades de sista 3 cm av med hjälp av kniv och spackelspade. Då ska plogdjupet på 23cm vara uppnått (variation på +/- 1cm var acceptabel). För att få en så korrekt uppmätning av djupet som möjligt, lades en plankan på markytan och sedan kunde djupet av gropen mätas i relation till plankan.

Plogdjupet hade tidigare bestämts vid en testgrävning där en grop på cirka 40 cm grävdes. En av sidorna planades ut med en kniv och sedan kunde motståndet undersökas genom att trycka en kniv in i väggprofilen på olika djup (Figur 3). Det konstaterades att plogsulan befann sig på 23 cm djup och att det är därmed är där infiltrationstestet ska utföras eftersom detta jordlager inte luckrats vid plöjning.



Figur 3: Knivtest i testgrop, bestämning av plogdjup på Kronoslätts gård 2020

När gropen färdigstälts sattes 5 infiltrationscylindrar med diametern 17 cm ned i gropen och dessa slogs försiktigt ned 3 cm i markytan (Figur 4). Avståndet mellan varje cylinder var 17 cm, så de inte skulle påverka varandra. I samband med detta togs 2 volymbestämda jordprov genom att slå ned två jordprovscylindrar i gropen. De slogs ned innan infiltrationstestet påbörjades för att undvika påverkan av vatten i jordprovet. Dessa togs sedan upp ur marken med stor försiktighet för att inte orsaka sprickor i gropen som i sin tur riskerade att påverka infiltrationstestet.

Jordproverna lades i fryspåsar för att vattenhalten inte skulle influeras av avdunstning. Påsarna märktes med behandling, blocknummer och testnummer. Därefter fylldes infiltrationscylindrarna med vardera 1 l vatten med hjälp av ett litermått och en plastskena. Vattnet hölls försiktigt på plastskenan och leddes via den ned i cylindern, detta för att undvika slamning av jorden i botten. Varje cylinder fylldes sedan med 1 minuts mellanrum och tiden mättes till dess att 50% av jorden i botten av cylindern var synlig utan vatten. Cylindrar som subjektivt såg ut ha många maskhål som bedömdes påverka infiltrationshastigheten antecknades.

Om något av proverna inte var representativ, till exempel på grund av en orsakad spricka så togs ett medelvärde av infiltrationstiden från de resterande 4 cylindrarna och sattes på den ej representativa cylindern. Detta för att alla 5 cylindrar skulle få värden som kunde tas med vid beräkning av K_{fs} .

Totalt grävdes 32 gropar vilket motsvarade 7 gropar i mellangrödsled och 1 grop i kontroll-led i respektive block. Samtliga tester utfördes på den ogödslade delen av blocket (ej led V₆). Detta genererade i 4 gropar per behandling.

Data till uträkning av jordprovernas bulkdensitet och faktisk vattenhalt samlades in i labb genom att väga samtliga jordprover för att få fram dess våtvikt. Sedan torkades proverna i torkskåp i 105°C under 24 timmar. Därefter vägdes 4 prover och sattes sedan tillbaka i torkskåpet. Efter ytterligare 2 timmar vägdes samma prover igen och då konstaterades det att proverna uppnått en stabil vikt och samtliga prover vägdes sedan igen för att få reda på dess torrsvikt.



Figur 4: Grop med infiltrationscylindrar, sandig moränlättilera, Kronoslätts gård 2020

2.4. Bearbetning av data

För tidtagningarna räknades det ut ett medelvärde för de 5 cylindrarna i varje grop och blev den representativa infiltrationstiden för den aktuella parcellen. Detta angavs i timmar, minuter och sekunder där medelvärdet för infiltrationstiden presenterades för varje behandling (8 st) i varje block (4 st) i en mall i kalkyleringsprogrammet Excel. Därefter fylldes vikterna för jordproverna i filen. Där angavs blötvikt (prov innan torkning), torrsvikt (prov efter torkning) samt formvikt (aluminiumformer vilka proverna torkades i). Fullständig presentation av data finns i bilaga 1 & 2. Datan bearbetades ytterligare en gång där infiltrationscylindrarna som bedömts ha många maskhål togs bort och resultatet från varje parcell behandlades individuellt i Excel.

När värdet för mättad hydraulisk konduktivitet (mm/h) tagits fram för alla parceller lades datan in i en mall i kalkyleringsprogrammet Excel där standardfel räknades ut och kunde tas med i resultatdiagrammen. Resultaten jämfördes sedan med skörderesultatet från det första försöket (2018-2019) på Kronoslätts gård.

Uträkning hydraulisk konduktivitet (mm/h)

Metoden och uträkningarna för mättad hydraulisk konduktivitet, K_{fs} , hämtades från Bagarello et al. (2004). För att kunna räkna ut flödes hastigheten behövs två standardvärden, förmodad partikeldensitet och matrixflödespotential (α^*). α^* indikerar den relativa påverkan av kapillaritet- och tyngdkraftskomponenter i vatten som flödar genom ej vattenmättad jord. Strukturerade lerjordar och medium- och finsandjordar bör ha värdet $\alpha^* 12m^{-1}$ (Elrick & Reynolds 1992). För förmodad partikeldensitet användes standardvärdet $2,65 g/cm^3$ (Brogowski et al. 2014). K_{fs} räknades ut efter följande ekvation:

$$K_{fs} = \frac{\Delta\theta}{(1-\Delta\theta)t} \left[\frac{D}{\Delta\theta} - \frac{D + \frac{1}{\alpha^*}}{(1-\Delta\theta)} \log \left(1 + \frac{(1-\Delta\theta)D}{\Delta\theta(D + \frac{1}{\alpha^*})} \right) \right] * 1000 \quad (\text{Ekvation 1})$$

Där t = infiltrationstid (h) angivet i decimalform. D = vattendjup vid start av test uttryckt i meter, räknas ut genom V/A . V = vattenvolym i cylinder, A = tvärsnittsarean av cylinder Matrixflödespotential α^* är i detta försök angivet som standardvärde 12. $\Delta\theta$ är skillnaden mellan jordens faktiska vattenhalt då försöket utfördes och dess mättade vattenhalt (Keller et al. 2007).

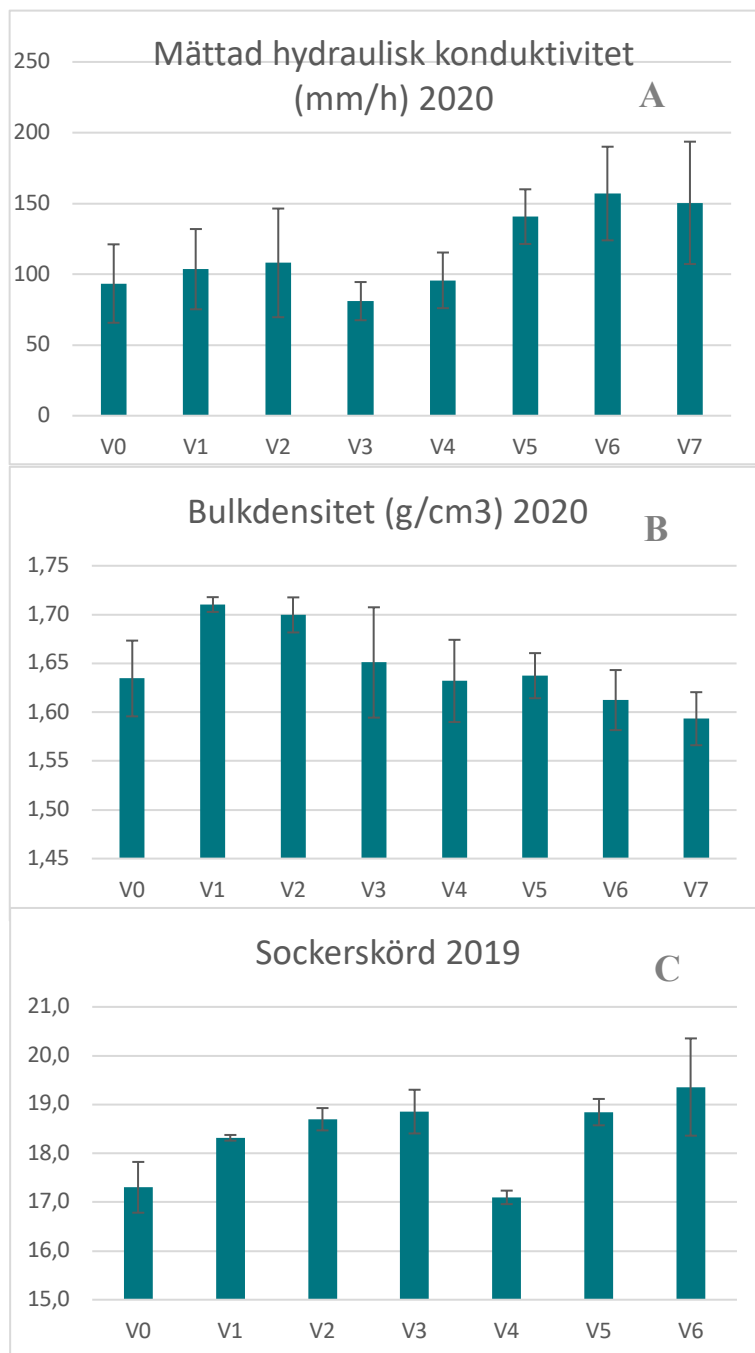
Statistisk analys

K_{fs} , sockerskörd 2019 och bulkdensitet behandlades med variansanalys i statistikprogrammet SPSS (IBM SPSS 26.0, IBM Corp., Armonk, NY, USA), där Dunnetts test användes för att ta reda på om någon av behandlingarna i mellangrödsled skilde sig från kontroll-led. Dunnetts test användes istället för Tukeys eftersom det är känsligare men ändå relevant.

En korrelationsanalys där Pearsons korrelationstest användes utfördes mellan skörderesultatet 2019 och K_{fs} -värdena i SPSS. Residualerna var normalfördelade, med konstant varians. Signifikansnivå 0.05 användes i samtliga test.

3. Resultat

Det fanns ingen signifikant skillnad ($P < 0.05$) i K_{fs} mellan behandlingarna. Det var en stor variation i mätningarna (Figur 5a; Tabell 7). Bulkdensitet visade heller inte någon signifikant skillnad ($P < 0.05$), även här fanns stora variationer i mätningarna (Figur 5b; Tabell 8). Led V_3 visade en signifikant skördeskillnad ($P = 0.02$) jämfört med kontrollen. En tendens till skördeskillnad sågs på Led V_{5+6} ($P = 0.08$) jämfört med kontrollen (Figur 5c), oberoende av kvävenivå.



Figur 5. Resultat. A- Mättad hydraulisk konduktivitet (mm/h) för alla behandlingar i sandig moränlättna. B- Bulkdensitet (g/cm³) för alla behandlingar. C- Skörderesultatet 2019/ha för 7 behandlingar, ingen skördedata tillgänglig för V_7 , används med tillstånd av Sven-Erik Svensson (Svensson et al. 2020a).

Tabell 7. Resultat mättad hydraulisk konduktivitet i sandig moränlättnara, K_{fs} ; Skillnad (ökning/minskning) K_{fs} jmf. Kontroll; Ökning och minskning av K_{fs} jmf. Kontroll (index 100)

Behandling	Mättad hydraulisk konduktivitet, K_{fs} mm/h (genomsnitt alla block)	ΔK_{fs} mm/h	Index
V_0	93,25	0	100,0
V_1	103,75	+10,5	111,2
V_2	103	+9,75	110,4
V_3	81	-12,25	87,0
V_4	95,75	+2,5	102,6
V_5	140,5	+47,25	150,3
V_6	156,75	+63,5	168,0
V_7	150,5	+57,25	161,4

Tabell 8. Resultat bulkdensitet för alla behandlingar i sandig moränlättnara; Ökning/minskning (g/cm^3) bulkdensitet jmf. kontroll

Behandling	Bulkdensitet (g/cm^3)	Δ Bulkdensitet
V_0	1,63	0
V_1	1,71	+0,01
V_2	1,7	+0,07
V_3	1,65	+0,02
V_4	1,63	0
V_5	1,61	-0,02
V_6	1,63	0
V_7	1,59	-0,04

Något samband mellan skördevärdena 2019 och K_{fs} går inte att uttyda (Figur 6; Tabell 9). Värdena är inte tagna från samma fält. Resultatet testades i en korrelationsanalys som ej visade signifikant skillnad ($P < 0.05$). En likadan analys utfördes för bulkdensitet men visade ingen signifikant korrelation.



Figur 6. Förändring av skörderesultat 2019 (staplar) och mättad hydraulisk konduktivitet (linje) för 6 behandlingar i jämförelse med kontroll-led (index 100)

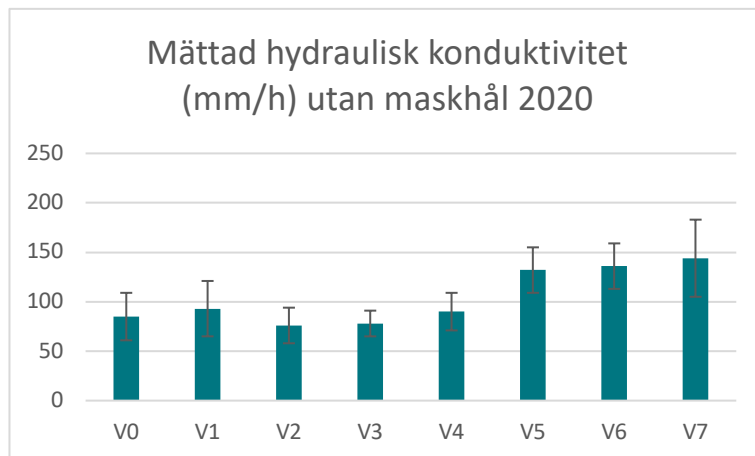
Tabell 9. Sockerskörd 2019, används med tillstånd av Sven-Erik Svensson (Svensson et al. 2020a); Skördeökning jmf. Kontroll (index 100); Mättad hydraulisk konduktivitet mm/h; Förändring av mättad hydraulisk konduktivitet jmf. Kontroll (index 100).

Behandling	Sockerskörd/ha 2019	Skördeökning Index 100	Mättad hydraulisk konduktivitet, K_{fs} mm/h	Förändring K_{fs} Index 100
V_0	17300 kg	100,0	93,25	100,0
V_1	18300 kg	105,8	103,75	111,2
V_2	18700 kg	108,0	103	110,4
V_3	18900 kg*	109,2	81	87,0
V_4	17600 kg	101,7	95,75	102,6
V_5	18400 kg**	106,3	140,5	150,6
V_6	19400 kg**	112,1	156,75	168,0
V_7	Ingen data	Ingen data	150,5	161,4

*Signifikant skillnad $P=0.02$ ej beroende av kvävenivå

** Tendens till ökning $P=0.08$ ej beroende av kvävenivå

Ingen skillnad tycks kunna uttydas då cylindrar som dränerats snabbt tagits bort (Figur 7; Tabell 10). Resultatet har testats statistiskt men det fanns ingen signifikant skillnad ($P < 0.05$).



Figur 7. Mättad hydraulisk konduktivitet (mm/h) i sandig moränlättna för alla behandlingar där infiltrationscylindrar med mycket maskhål tagits bort.

Tabell 10: Cylindrar vilka bedömts placerats över många maskhål vilka kan ha påverkat flödes hastigheten (Block nr.; antal cylindrar)

Behandling	Påverkade block (nr.)	Antal cylindrar med mycket maskhål (alla block)
V_0	4	2
V_1	1,2,4	3
V_2	1,4	4
V_3	3	1
V_4	1,2	2
V_5	1,4	3
V_6	3	2
V_7	4	1

4. Diskussion och slutsats

Mellangrödornas effekt på K_{fs}

Ingen av behandlingarna gav en signifikant skillnad i K_{fs} . Generellt sett verkar fältet ha en god infiltrationskapacitet för jordarten (Tabell 1; Tabell 2), oavsett behandling. Det är viktigt att poängtera att boveten i led V₃ vissnade i början av november på grund av frost, vilket möjligen kan påverkat resultatet för den behandlingen. Den vissnade även tidigt under det första försöksåret vilket kan ha påverkat effekten på skörderesultatet².

Acharya Shama et al. (2019) kunde i ett försök konstatera en förbättring av K_{fs} . Wick et al. (2017) tyckte sig se att kålväxter och gräs förbättrade infiltrationen i sitt försök. Eftersom detta försök inte omfattat gräsarter och oljerättika är den enda kålväxt som presenterats så är det svårt att dra kopplingar till Wicks försök men det är intressant att se hur resultat kan variera i denna typ av studie. Med hänsyn till grödornas egenskaper i mitt försök borde oljerättika, honungsört och blodklöver ge störst förändring på K_{fs} eftersom dessa arter har djupgående pålrotssystem. Bovete har ett ytligare pålrotssystem så detta borde också ge en förutsättning för förbättrad K_{fs} . Dock är det inte något som kan fastställas efter detta försök eftersom ingen signifikant skillnad kunnat visas. Indikationerna på variation i K_{fs} ser dock ut att stämma med egenskaperna.

Cercioglu et al. (2019) har konstaterat att K_{fs} verkar förbättras längre ned i profilen i korrelation till antal år som mellangrödor etablerats och det konstaterades en signifikant skillnad ($P < 0.05$) i mätningarna mellan åren. Eftersom mätningarna i detta försök enbart utförts på ett fast djup och mellangrödorna endast odlats i 1 år på platsen så vet jag ingenting om variationer i K_{fs} vertikalt i profilen. Eftersom mätningarna i denna studie skett i alven så är det möjligt att det skulle krävas ytterligare några års etablering av mellangrödor för att kunna visa en signifikant effekt av behandlingarna, något som skulle kunna vara av intresse att undersöka.

Korrelation mellan K_{fs} och skörderesultat

Någon signifikant skillnad i korrelationsanalysen mellan skördevärdena och skördedata har inte kunnat påvisas, vilket orsakar svårigheter att kommentera variationer mellan mellangrödorna. Det kan finnas en svag koppling mellan sockerskörd 2019 och K_{fs} (Figur 6) varför det bör vara av intresse att jämföra K_{fs} med skördevärdena från 2020, där sockerbeterna och mellangrödorna odlats inom samma försöksfält. Det är då möjligt att behandla varje parcell individuellt vilket genererar i fler datapunkter att analysera.

² Jeppa Olanders, Kronoslätts gård, personlig kommunikation 2020-05-27

Jian et al. (2020) har i en rapport samlat data från 269 studier från hela världen. Där sågs en tendens ($P \leq 0.05$) till skördeökning på avsalugrödor som odlats efter mellangrödor i blandning. I mitt försök ser blandningarna ut att i genomsnitt har högre K_{fs} i förhållande till kontroll-led och grödor i renbestånd, där en blandning gav signifikant skillnad och en blandning visade en tendens till skördeökning. På det stora hela verkar det uppstå en indikation till samodlingseffekt, vilket måste undersökas vidare för att kunna fastställa.

Blomquist et al. (2002) och Keller et al. (2007) skriver att fält med hög avkastning har högre K_{fs} än fält med låg avkastning. Blomquist et al. (2002) kunde konstatera i sin rapport att en ökning av K_{fs} kan generera 150kg högre skörd per hektar. Keller et al. (2002) såg att K_{fs} kunde ge en indikation på avkastningen. Dock konstaterades det i båda studierna att K_{fs} - och skördeeffekten verkade minska på högavkastande gårdar vilket kan bero på att gränsen för skördeökning i korrelation till K_{fs} är uppnådd. Eftersom den aktuella gården i detta försök möjligen kan klassas att ha en hög produktion och dessutom verkar ha en mycket god K_{fs} från start så kan resultatet från dessa tre studier möjligen vara applicerbara här. Detta då gården i detta försök kanske nått gränsen där korrelation mellan K_{fs} och skörd inte längre går att uttyda. Blomquist et al. (2002) har dock inte använt sig av SFH-tekniken vid bestämning av K_{fs} och resultaten jämfördes med vertikal infiltrationsförmåga, K_{v0-50} när försöket i denna rapport endast utförts på ett fast djup därav kan Blomquist et al. (2002) möjligen kunna urskilja annorlunda effekter än i detta försök.

Jian et al (2020) skriver att odling av mellangrödor ökat avkastning med i genomsnitt 4,3%, då framförallt efter odling av baljväxter. Eftersom det endast ingår två blandningar med baljväxter i detta försök så är det svårt att kunna utläsa ett specifikt resultat från dessa. Vad Jian et al. (2020) även menar är att framförallt blandningar av mellangrödor tenderar till en skördeökning. Det är viktigt dock att ha i åtanke att rapporten är baserad på data som samlats in från hela världen och variationerna borde vara mycket stora. I försöket på Kronoslätts gård ingår endast tre grödor i renbestånd men de grödor som gav högre skörd eller en tendens till högre skörd 2019 var blandningar. Det är inte något som specifikt undersökts i denna studie och kan därför inte fastställas. Nunes Renato et al. (2018) såg en ökad skörd efter odling av mellangrödor på lättlera (ej signifikant ($P \leq 0.05$)). Dock omfattade detta försök etablerade mellangrödor 4 år i rad och reducerad bearbetning tillämpades, vilket antogs öka effekten av mellangrödorna. Även Wilson et al. (1982) såg en signifikant ökad skörd ($P \leq 0.05$) efter odling av baljväxter. Det försöket utfördes dock på en kraftigt eroderad jord i Nigeria. Jorden innehöll i början av försöket ingen mask som kunde påverka K_{fs} och efter 2 år av mellangrödor sågs en signifikant skillnad på K_{fs} ($P \leq 0.05$). Det försöket är väldigt svårt att applicera på mitt försök men det tycks vara så att resultaten i denna typ av försöks påverkas väldigt mycket av utgångsläget i marken. Jordar med sämre förutsättningar verkar få större effekt av mellangrödor.

Korrelation mellan K_{fs} och bulkdensitet

Det fanns ingen korrelation mellan bulkdensitet och K_{fs} vilket heller inte var förväntat. Det är också något som Cercioglu et al. (2019) konstaterar i sin rapport, där en korrelation mellan odlad mellangröda och bulkdensitet inte kunde bevisas. Keller et al. (2020) kunde konstatera en negativ korrelation mellan K_{fs} och bulkdensitet i matjordslagret, vilket kan bero på att matjordslagret regelbundet bearbetas. Blomquist et al. (2002) nämner att fält med hög avkastning verkar ha lägre bulkdensitet än sin motsvarighet. Därför kan det komma att vara intressant att jämföra skördedatan år 2020 med den uppmätta bulkdensiteten i försöket.

Orsaker till inomfältvariationer

Variationen i infiltrationsdaten var stor. Det kan ha berott på sprickor eller maskhål i marken, och det är möjligt att det inte fanns tillräckligt många upprepningar av behandlingarna för att kunna uttyda variationer. Acharya et al. (2019) skriver att makroporer, i form av maskgångar, troligen resulterat i stora inomfältvariationer vid uppmätning av K_{fs} . Keller et al. (2007) tror att samma effekt beror på att hög lerhalt och hög bulkdensitet försämrar infiltrationen. I detta försök sågs stora variationer inom samma parcell vilket troligen inte berott på skillnader i lerhalt och bulkdensitet utan snarare på grund av makroporer. Fältet var generellt sett mycket rikt på mask (Figur 8, 9) och därför kunde enskilda infiltrationscylindrar dräneras fort på vatten vilket troligen påverkade infiltrationstestet i det stora hela. De cylindrar där mycket maskhål upptäcktes antecknades och därefter gjordes ett separat diagram där dessa cylindrar tagits bort, se tabell 10. Diagrammet visas i figur 8. Alla behandlingar i försöket fick, som antaget, något lägre K_{fs} i detta diagram men inte heller i detta fall tycks någon tendens urskiljas eftersom K_{fs} sänktes ungefär lika mycket i alla behandlingar. Det kan dock vara av intresse att undersöka hur mycket mask som finns i marken efter odling av mellangrödor eftersom de verkar påverka infiltrationen i stor utsträckning.

Basche & DeLonge (2019) talar om att variationer kan vara kopplade till lerhalt. De har utfört en metastudie där 89 olika försök sammanställts. 23 av dessa försök behandlade mellangrödor och resultatet av studien visade att mellangrödor procentuellt ökade K_{fs} signifikant ($P < 0.05$). Störst procentuell effekt verkade mellangrödor ge som odlats i minst 4 år i rad. Mellangrödor som odlats på jordar >30% ler gav ingen signifikant förändring på K_{fs} medan de mellangrödor som odlas på jordar <30% ler gav en signifikant förbättring av K_{fs} . Att lerhalt kan påverka mellangrödornas effekt kan ha bidragit till variationerna i mitt försök eftersom vattenhalten varierade mellan parcellerna vilket tyder på skiljande lerhalt, vilket kan göra det svårare att urskilja effekter av mellangrödan. Dock är det viktigt att påpeka att Basche & DeLonge (2019) mätte lerhalt i intervallerna ">30% ler" och "< 30% ler" vilket innebär att variationerna inom intervallerna borde vara stora.

Keller et al. (2007) skriver att K_{fs} kan skifta mycket inom ett fält, speciellt om lerhalten varierar (Tabell 1). Att därför hitta en korrelation mellan skörderesultat

från 2019 och K_{fs} i detta försök hade från början dåliga förutsättningar eftersom datan hämtats från olika fält, där lerhalten kan skilja sig.

Goaverts et al. (2007) har jämfört fält där växtrester, dock ej mellangrödor, lämnats respektive bärgats från fälten. Efter försöket konstaterades det att det är kritiskt att lämna skörderester på fält om man vill uppnå förbättrad K_{fs} , då fält med skörderester signifikant skilde sig från fält där resterna bärgats ($P < 0.05$). I försöket i denna studie var alla rester från både stärkelseveten och mellangrödorna nedplöjda. Om skörderesternas effekt på infiltrationskapaciteten är så stor som Goaverts påstår så skulle det vara intressant att utföra ett infiltrationstest på fält där samtliga skörderester bärgats. Genom att göra det så skulle det möjligen gå att isolera hypotesen ”mellangrödans rotsystem förbättrar infiltrationen” där andra faktorer som gemensamt med rotkanalerna har en effekt på K_{fs} tas bort. Dock finns där fortfarande andra faktorer som påverkar infiltrationen som kan vara svårt att undvika, såsom mask. Maskpopulationen kan dock vara påverkad av mellangrödornas rotsystem eller eventuella skörderester, vilket gör att om skörderesterna bärgats så kanske antalet maskar minskat.



Figur 9: Maskhål och rotgångar under cylinder



Figur 10: Maskhål och rotgångar i cylinder

SFH-tekniken

SFH-tekniken verkar vara en vanlig metod för att undersöka K_{fs} . Det är en enkel metod som kan genomföras med förhållandevis lite materiel jämfört med de försök som utförs med jordprover i labb (Bagarello et al. 2004). Det är dock något tidskrävande och det kräver ganska stora gropar vilket kan vara ansträngande om man har många parceller att undersöka. I detta försök anställdes en tekniker till hjälp att gräva groparna. Upplägget var att teknikern grävde groparna på morgonen och sedan utfördes försöket under resten av dagen. Eftersom det var soligt under dagarna för försöket så innebär det att botten i vissa av groparna hann torka upp. Det bör trots allt inte ha påverkat infiltrationsflödet eftersom ytterligare 3 cm av botten skalades av strax innan infiltrationstestet påbörjades. Markfukten bedömdes därmed inte ha påverkats på testytan men om groparna grävts direkt i samband med att testet skulle utföras så hade risken minskat att markfukten hunnit avdunsta. Vidare användes fem infiltrationscylinrar i varje grop för att

försöka insamla tillräckligt med data. Sedan togs ett medelvärde från varje grop för att göra en statistisk analys som tyvärr inte visade en signifikant skillnad. I efterhand kan det konstateras att antalet makroporer borde antecknats noggrannare för att eventuellt kunna göra en analys dels om det kunnat upptäckas någon skillnad i antalet makroporer mellan behandlingarna men det hade även varit ett bra underlag för att uppskatta hur makroporerna påverkat infiltrationen. Tyvärr var inte tiden tillräcklig för den typen av analys.

Slutsats

Resultaten gav inget stöd för att mellangrödorna förbättrat K_{fs} eller att K_{fs} skulle ha en korrelation med sockerskörden 2019. Det kan dock vara så, att om mellangrödorna odlats på fältet i mer än ett år i rad så kanske det gått att urskilja större effekter. Det gör att detta är ett område som bör undersökas vidare i större försök för att förhoppningsvis kunna hantera variationen bättre, där fler faktorer behandlas, såsom makroporer. Det kan dock vara av intresse att göra en ny jämförelse mellan infiltrationsresultaten i detta försök med skörderesultatet år 2020 eftersom mellangrödorna och sockerbetorna då odlats på samma fält.

5. Referenser

- Acharya Sharma, B., Dodla, S., Gaston, A.L., Darapuneni, M., Wang, J.J., Sepat, S. & Bohara, H. (2019). Winter cover crops effect on soil moisture and soybean growth and yield under different tillage systems. *Soil & tillage research*, vol. 195. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.104430>
- Aronsson, H., Bergkvist, G., Stenberg, M. & Wallenhammar, A-C. (2012). *Gröda mellan grödorna – samlad kunskap om fånggrödor*. Jönköping: Jordbruksverket. (Jordbruksverket rapport 2012:21).
- Bagarello, V., Iovino, M. & Elrick, D. (2004) A simplified falling-head technique for rapid determination of field-saturated hydraulic conductivity. *Soil science society of America journal*, vol 68, ss. 66-73. Doi: <https://doi.org/10.2136/sssaj2004.6600>
- Basche, A. & DeLonge, M. (2019). Comparing infiltration rates in soils managed with conventional and alternative farming methods: A meta-analysis. *Plos One*, vol 14 (9). Doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0215702>
- Berglund, K. & Gustafson Bjuréus, A. (2008). *Markstrukturtest i f lt*. Uppsala: Sveriges lantbruksuniversitet. (Institutionen f r markvetenskap Rapport, 8)
- Blomquist, J., Christensson, B., Gerhardson, B., Hellgren, O., Berglund, K., Larsson, H., Wildt-Persson, T. & Rydberg, T. (2002) *4T – Tillv xt till Tio Ton*. Stockholm: Stiftelsen Lantbruksforskning. Tillgänglig: http://4t.sockerbetor.nu/4T/kap3_04_02.pdf [2020-05-12]
- Brogowski, Z., Kwasowski, W. & Madyniak, R. (2014). Calculating particle density, bulk density, and total porosity of soil based on its texture. *Soil science annual*, vol 65, ss. 139-149. Doi: [10.1616/ssa-2015-007](https://doi.org/10.1616/ssa-2015-007)
- Cotswold (2020) *Black oats*. Tillgänglig: <https://www.cotswoldseeds.com/species/144/black-oats> [2020-04-29].
- Cercioglu, M., H-Anderson, S., P-Udawatta, R. & Alagele, S. (2019). Effect of cover crops management on soil hydraulic properties. *Geoderma*, vol 343, ss. 247-253. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.02.027>
- Chen, G. & Weil, R.R. (2011), Root growth and yield of maize as affected by soil compaction and cover crops. *Soil & tillage research*, vol 117, ss. 17-27. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.still.2011.08.001>
- Hoad, S.P., Russel, G., Lucas, M.E. & Bingham, I.J. (2001). The management of wheat, barley, and oat root systems. *Advances in agronomy*, vol 74, ss. 193-246. Doi: [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(01\)74034-5](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(01)74034-5)
- Edible wild food (2020) *Crimson clover*. Tillgänglig: <http://www.ediblewildfood.com/crimson-clover.aspx> [2020-04-28]
- Eklund, C. (2020). Stort intresse f r klimatnyttigt s tt att odla. Tillgänglig: <http://www.mynewsdesk.com/se/helsingborg/pressreleases/stort-intresse-foer-klimatnyttigt-saett-att-odla-2976267> [2020-05-25]

- Elrick, D. & Reynolds, D. (1992). Infiltration from constant-head well permeameters and infiltrometers. *SSSA Special publications*, vol 30, ss. 1-24. Doi: <https://doi.org/10.2136/sssaspecpub30.c1>
- Gao-Lin, W., Zheng, Y., Zeng, C., Yu, L., Nu-Fang, F. & Zhi-Hua, S. (2016) Mixed artificial improved mine soil infiltration capacity. *Journal of hydrology*, vol. 535, ss. 54-60. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.01.059>
- Goaverts, B., Fuentes, M., Mezzalama, M., Nicol, M.J., Deckers, J., Etcherers, D.J., Figuerosa Sandoval, B. & Sayre, D.K. (2007). Infiltration, soil moisture, root rot and nematode populations after 12 years of direct tillage, residue and crop rotation managements. *Soil & tillage research*, vol 94, ss. 209-219. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.still.2006.07.013>
- Granstedt, A., Högborg, E., Johansson, L. & Weidow, B. (1986). *Växtodlingens grunder*. 5 uppl. Stockholm: Lts förlag.
- Jian, J., Lester, J.B., Du, X., Reiter, S.M. & Stewart, D.R. (2020). A calculator to quantify cover crop effects on soil health and productivity. *Soil & tillage research*, vol 199. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104575>
- Keller, T., Rydberg, T., Sutter, J. & Nissen, K (2007). Using field measurement of saturated soil hydraulic conductivity to detect low-yielding zones in three Swedish fields. *Soil & Tillage research*, vol. 124, ss. 68-77. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.still.2012.05.002>
- Kirk, D.J. (2015). Phacelia. *Bee World*, vol. 86, ss. 14-16. DOI: <https://doi.org/10.1080/0005772X.2005.11099643>
- Klang, A.L. & Karlsson, P. (2015). Dagvattenutredning till detaljplan för del av Badelunda-Tibble 3:15, 3:22 och 3:68 samt 3:16. (Ridanläggning och skola vid Brandthovda IP), DP 1804, Västerås. Västerås: SWECO. (SWECO Rapport, 1186537000) Tillgänglig: <https://www.vasteras.se/download/18.48de423152f56b9fdd1968/1554823463758/Detaljplan%20dp%201804%20dagvattenutredning.pdf> [2020-06-05]
- Naturhistoriska riksmuseet (2000a). Blodklöver. I: ***Den virtuella floran***. Tillgänglig: <http://linnaeus.nrm.se/flora/di/faba/trifo/trifinc.html> [2020-04-29].
- Naturhistoriska riksmuseet (2000b). Purrhavre. I: ***Den virtuella floran***. Tillgänglig: <http://linnaeus.nrm.se/flora/mono/poa/avena/avenstr.html> [2020-04-29].
- Nunes Renato, M., Mathijs van Es, H., Schindelbeck, R., James Ristov, A. & Ryan, M. (2019). No-till and cropping system diversification improve soil health and crop yield. *Geoderma*, vol. 328, ss. 30-43. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.04.031>
- Pålsson, O. (u.å). *Senap och rättika som fånggrödor*. Jönköping: Jordbruksverket. http://www.tradgard.org/kunskap/kunskapsbank/faktabladen/07_grongodsling.pdf [2020-04-15]
- Scandinavian Seed. (u.å.) *Understödjande grödor*. (Broschyr). Lidköping: Scandinavian Seed. Tillgänglig: <https://online.flowpaper.com/7b970788/Mellangrödor2018lagupplöst/#page=2> [2020-03-25].

- Shan, L., Qi-quan, L., Chang-Guan, W., Bing, L., Xuw-song, G., Yi-ding, L. & De-yong, L. (2019). Spatial variability of soil bulk density and its controlling factors in an agricultural intensive area of Chengdu Plain, Southwest China. *Journal of Integrative Agriculture*, vol 18, ss. 290-300. Doi: [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(18\)61930-6](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(18)61930-6)
- Sustainable Agriculture Research & Education SARE (2012). *Types of cover crops*. Tillgänglig: <https://www.sare.org/Learning-Center/Books/Building-Soils-for-Better-Crops-3rd-Edition/Text-Version/Cover-Crops/Types-of-Cover-Crops> [2020-04-28]
- Svensson, S-E., Ernfors, M., Hansson, D., Olsson Nyström, Å. & Olanders, J. (2020 b) *Skördeeffekter i sockerbetor 2020 efter mellangrödor som etablerats efter stärkelsevete*. Opublicerat manuskript. [2020-04-10]
- Svensson, S-E., Hansson, D., Nilsson, A., Prade, T., Olsson, Å. & Olanders, J. (2020 a) *Mellangrödor efter stärkelsevete som förfrukt till sockerbetor*. Opublicerat manuskript. (Preliminär rapportering, PA-1132. PA-1190) [2020-03-25].
- Weil, R.R. & Brady, C.N. (2017) . *The nature and properties of soils*. 15 uppl. Harlow: Pearson Education Limited.
- Wick, A., Berti, M. & Lawley, M. (2017). Integration of Annual and Perennial Cover Crops for Improving Soil Health. I: Al-Kaisi, M. Lowery, B. *Soil health and intensification of agroecosystems*. Madison: Academic press, ss. 127-150. Doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-805317-1.00006-3>
- Wilson, G.F., Lal, R. & Okigbo, B.N. (1982). Effects of cover crops on soil structure and on yield of subsequent arable crops grown under strip tillage on an eroded alisol. *Soil & tillage research*, vol 2, ss. 233-250. Doi: [https://doi.org/10.1016/0167-1987\(82\)90013-7](https://doi.org/10.1016/0167-1987(82)90013-7)
- Wirén, E. (2013). *Gröngödsling*. Täby: Riksförbundet svensk trädgård. Tillgänglig: http://www.tradgard.org/kunskap/kunskapsbank/faktabladen/07_grongodsling.pdf [2020-04-28]
- Ögren, E (2016). *Gröngödsling*. Jönköping: Jordbruksverket. Tillgänglig: https://issuu.com/jordbruksverket/docs/p10_7v3/28 [2020-04-20].

Bilagor

Bilaga 1. Uträkning mättad hydraulisk konduktivitet 1 (2)

Field	Block	Depth	Infiltration time (min)	Infiltration time (s)	Infiltration time decimals (h)	Water depth at start (m)	Soil weight fresh + tray (g)	Soil weight dry + tray (g)	Tray weight (g)
Oljeättika	1	23	7	42	0,13	0,04	785,85	699,45	7,85
Oljeättika	2	23	9	20	0,16	0,04	777,60	690,30	6,60
Oljeättika	3	23	22	39	0,38	0,04	781,35	692,10	7,75
Oljeättika	4	23	22	8	0,37	0,04	767,75	684,65	7,85
Kontroll	1	23	8	55	0,15	0,04	784,40	686,70	7,35
Kontroll	2	23	38	9	0,64	0,04	721,00	629,40	7,70
Kontroll	3	23	18	34	0,31	0,04	775,65	689,55	8,10
Kontroll	4	23	8	54	0,15	0,04	727,75	640,55	7,80
Honungsört	1	23	21	5	0,35	0,04	791,45	704,15	8,05
Honungsört	2	23	32	14	0,54	0,04	791,95	695,85	8,05
Honungsört	3	23	10	18	0,17	0,04	727,10	641,75	10,25
Honungsört	4	23	5	32	0,09	0,04	762,30	679,10	11,05
H ört + Boveite	1	23	21	29	0,36	0,04	689,95	604,00	7,85
H ört + Boveite	2	23	12	47	0,21	0,04	800,35	707,50	7,10
H ört + Boveite	3	23	12	33	0,21	0,04	769,50	687,90	7,85
H ört + Boveite	4	23	16	19	0,27	0,04	755,50	672,85	7,95
Oljeättika+Purthavre	1	23	13	10	0,22	0,04	726,10	638,20	7,85
Oljeättika+Purthavre	2	23	17	38	0,29	0,04	752,55	659,35	8,10
Oljeättika+Purthavre	3	23	5	31	0,09	0,04	747,25	665,50	7,65
Oljeättika+Purthavre	4	23	4	10	0,07	0,04	695,20	617,80	7,95
Purthavre	1	23	7	37	0,13	0,04	719,10	631,45	8,10
Purthavre	2	23	14	30	0,24	0,04	758,15	671,54	7,90
Purthavre	3	23	21	9	0,35	0,04	717,70	636,50	7,90
Purthavre	4	23	12	24	0,21	0,04	791,20	703,50	7,85
H ört + Blått Gröddsläd	1	23	9	12	0,15	0,04	747,55	663,65	8,00
H ört + Blått Gröddsläd	2	23	5	29	0,09	0,04	703,00	616,20	8,10
H ört + Blått Gröddsläd	3	23	5	12	0,09	0,04	753,65	665,40	8,10
H ört + Blått Gröddsläd	4	23	14	19	0,24	0,04	751,20	666,70	7,90
H ört + Blått Gröddsläd	1	23	9	28	0,16	0,04	760,80	678,10	8,10
H ört + Blått Gröddsläd	2	23	8	42	0,15	0,04	764,40	678,60	7,65
H ört + Blått Gröddsläd	3	23	10	19	0,17	0,04	721,90	642,00	8,10
H ört + Blått Gröddsläd	4	23	5	33	0,09	0,04	729,70	652,80	7,80

Bilaga 2. Uträkning mättad hydraulisk konduktivitet 2 (2)

Field	Block	Cylinder volume (cm ³)	Bulk density (g/cm ³)	Field soil water content (cm ³ /cm ³)	Assumed particle density (g/cm ³)	Saturated soil water content (calculated; cm ³ /cm ³)	θ_0	Field sat hydr cond, Kfs (m/s)	Field sat hydr cond, Kfs (mm/h)	Field sat hydr cond, Kfs (mm/h)
Oljeättika	1	400	1,73	0,22	2,65	0,35	0,13	4,6401E-05		167
Oljeättika	2	400	1,71	0,22	2,65	0,36	0,14	3,77103E-05		136
Oljeättika	3	400	1,71	0,22	2,65	0,35	0,13	1,57874E-05		57
Oljeättika	4	400	1,69	0,21	2,65	0,36	0,15	1,51694E-05		55
Kontroll	1	400	1,70	0,24	2,65	0,36	0,11	4,21367E-05		152
Kontroll	2	400	1,55	0,23	2,65	0,41	0,18	8,13471E-06		29
Kontroll	3	400	1,70	0,22	2,65	0,36	0,14	1,86837E-05		67
Kontroll	4	400	1,58	0,22	2,65	0,40	0,19	3,48206E-05		125
Honungsbört	1	400	1,74	0,22	2,65	0,34	0,13	1,72745E-05		62
Honungsbört	2	400	1,72	0,24	2,65	0,35	0,11	1,18027E-05		42
Honungsbört	3	400	1,58	0,21	2,65	0,40	0,19	2,96687E-05		107
Honungsbört	4	400	1,67	0,21	2,65	0,37	0,16	5,94019E-05		214
H.ört + Bovele	1	400	1,49	0,21	2,65	0,44	0,22	1,32226E-05		48
H.ört + Bovele	2	400	1,75	0,23	2,65	0,34	0,11	3,01208E-05		108
H.ört + Bovele	3	400	1,70	0,20	2,65	0,36	0,15	2,67039E-05		96
H.ört + Bovele	4	400	1,66	0,21	2,65	0,37	0,17	1,9918E-05		72
Oljeättika+Purhavre	1	400	1,58	0,22	2,65	0,41	0,19	2,35075E-05		85
Oljeättika+Purhavre	2	400	1,63	0,23	2,65	0,39	0,15	1,90996E-05		69
Oljeättika+Purhavre	3	400	1,64	0,20	2,65	0,38	0,18	5,75908E-05		207
Oljeättika+Purhavre	4	400	1,52	0,19	2,65	0,42	0,23	6,69347E-05		241
Purhavre	1	400	1,56	0,22	2,65	0,41	0,19	3,99355E-05		144
Purhavre	2	400	1,66	0,22	2,65	0,37	0,16	2,29309E-05		83
Purhavre	3	400	1,57	0,20	2,65	0,41	0,20	1,40099E-05		50
Purhavre	4	400	1,74	0,22	2,65	0,34	0,12	2,94219E-05		106
H.ört + BL&I Gödsblad	1	400	1,64	0,21	2,65	0,38	0,17	3,48225E-05		125
H.ört + BL&I Gödsblad	2	400	1,52	0,22	2,65	0,43	0,21	5,33806E-05		192
H.ört + BL&I Gödsblad	3	400	1,64	0,22	2,65	0,38	0,16	6,3624E-05		229
H.ört + BL&I Gödsblad	4	400	1,65	0,21	2,65	0,38	0,17	2,26344E-05		81
H.ört + BL&I Ögödsblad	1	400	1,68	0,21	2,65	0,37	0,16	3,47745E-05		125
H.ört + BL&I Ögödsblad	2	400	1,68	0,21	2,65	0,37	0,15	3,87203E-05		139
H.ört + BL&I Ögödsblad	3	400	1,58	0,20	2,65	0,40	0,20	2,88379E-05		104
H.ört + BL&I Ögödsblad	4	400	1,61	0,19	2,65	0,39	0,20	5,39781E-05		194

Bilaga 3. Genomsnitt flödes hastighet, standardavvikelser och standardfel.

Field	Block	Bulk density (g/cm ³)	Field soil water content (cm ³ /cm ³)	Field sat hydr cond, Kfs (mm/h)	Av_Kfs	Stdev_Kfs	CV	SE_Kfs
Oljerättika	1	1,73	0,22	167	104	57	55%	28
Oljerättika	2	1,71	0,22	136				
Oljerättika	3	1,71	0,22	57				
Oljerättika	4	1,69	0,21	55				
Kontroll	1	1,70	0,24	152	93	55	59%	28
Kontroll	2	1,55	0,23	29				
Kontroll	3	1,70	0,22	67				
Kontroll	4	1,58	0,22	125				
Honungsört	1	1,74	0,22	62	108	77	71%	38
Honungsört	2	1,72	0,24	42				
Honungsört	3	1,67	0,21	94				
Honungsört	4	1,67	0,21	214				
H.ört + Bovete	1	1,49	0,21	48	81	27	33%	13
H.ört + Bovete	2	1,75	0,23	108				
H.ört + Bovete	3	1,70	0,20	96				
H.ört + Bovete	4	1,66	0,21	72				
Oljerättika+Purrhavre	1	1,58	0,22	85	150	86	57%	43
Oljerättika+Purrhavre	2	1,63	0,23	69				
Oljerättika+Purrhavre	3	1,64	0,20	207				
Oljerättika+Purrhavre	4	1,52	0,19	241				
Purrhavre	1	1,56	0,22	144	96	39	41%	20
Purrhavre	2	1,66	0,22	83				
Purrhavre	3	1,57	0,20	50				
Purrhavre	4	1,74	0,22	106				
H.ört + Bl.kl Gödslad	1	1,64	0,21	125	157	66	42%	33
H.ört + Bl.kl Gödslad	2	1,52	0,22	192				
H.ört + Bl.kl Gödslad	3	1,64	0,22	229				
H.ört + Bl.kl Gödslad	4	1,65	0,21	81				
H.ört + Bl.kl Ogödslad	1	1,68	0,21	125	141	39	27%	19
H.ört + Bl.kl Ogödslad	2	1,68	0,21	139				
H.ört + Bl.kl Ogödslad	3	1,58	0,20	104				
H.ört + Bl.kl Ogödslad	4	1,61	0,19	194				

Bilaga 4. Genomsnitt flödes hastighet, standardavvikelser och standardfel där cylindrar med maskhål tagits bort

Field	Block	Bulk density (g/cm ³)	Field soil water content (cm ³ /cm ³)	Field sat hydr cond, Kfs (mm/h)	Av_Kfs	Stdev_Kfs	CV	SE_Kfs
Oljerättika	1	1,73	0,22	133	85	48	57%	24
Oljerättika	2	1,71	0,22	98				
Oljerättika	3	1,71	0,22	57				
Oljerättika	4	1,69	0,21	38				
Kontroll	1	1,70	0,24	124	93	55	59%	28
Kontroll	2	1,55	0,23	29				
Kontroll	3	1,70	0,22	61				
Kontroll	4	1,58	0,22	102				
Honungsört	1	1,74	0,22	50	76	35	46%	18
Honungsört	2	1,72	0,24	42				
Honungsört	3	1,67	0,21	115				
Honungsört	4	1,67	0,21	95				
H.ört + Bovete	1	1,49	0,21	137	78	25	32%	13
H.ört + Bovete	2	1,75	0,23	108				
H.ört + Bovete	3	1,70	0,20	83				
H.ört + Bovete	4	1,66	0,21	72				
Oljerättika+Purrahavre	1	1,58	0,22	85	144	79	54%	39
Oljerättika+Purrahavre	2	1,63	0,23	69				
Oljerättika+Purrahavre	3	1,64	0,20	207				
Oljerättika+Purrahavre	4	1,52	0,19	217				
Purrahavre	1	1,56	0,22	136	90	39	43%	19
Purrahavre	2	1,66	0,22	66				
Purrahavre	3	1,57	0,20	50				
Purrahavre	4	1,74	0,22	106				
H.ört + Bl.kl Gödslad	1	1,64	0,21	125	136	46	34%	23
H.ört + Bl.kl Gödslad	2	1,52	0,22	192				
H.ört + Bl.kl Gödslad	3	1,64	0,22	145				
H.ört + Bl.kl Gödslad	4	1,65	0,21	81				
H.ört + Bl.kl Ogödslad	1	1,68	0,21	92	132	46	35%	23
H.ört + Bl.kl Ogödslad	2	1,68	0,21	139				
H.ört + Bl.kl Ogödslad	3	1,58	0,20	104				
H.ört + Bl.kl Ogödslad	4	1,61	0,19	194				